

ARGAMASSAS DE REBOCO COM CAL AÉREA, TERRA E FIBRAS NATURAIS: AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA SUSCETIBILIDADE À CONTAMINAÇÃO BIOLÓGICA

Miguel Teixeira¹, Lina Nunes², Pedro Santos¹, Naila Jamú¹, Paulina Faria^{3*}

1: Dep. Eng. Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa
2829-516 Caparica

m.teixeira@campus.fct.unl.pt, pa.santos@campus.fct.unl.pt, nailaspj@gmail.com

2: Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa
linanunes@Inec.pt

3: UNIC, Dep. Eng. Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa
2829-516 Caparica
paulina.faria@fct.unl.pt

Palavras-chave: Reboco, Argamassa, Cal aérea, Terra, Fibra natural, Deterioração por fungo

Resumo. *Os rebocos constituem principalmente a proteção exterior e interior de elementos de alvenaria. Podem ser eles próprios protegidos por sistemas de pintura ou ficarem diretamente expostos. São constituídos por sistemas em que são aplicadas camadas sucessivas de argamassa. As argamassas são por sua vez constituídas por ligantes e agregados e, eventualmente, adições e adjuvantes. Geralmente constituem camadas de espessura relativamente pequena (da ordem dos 2 cm) mas podem ser aplicados em espessuras superiores, nomeadamente quando se pretendem maiores contributos de isolamento térmico.*

Para melhorar o seu comportamento, as argamassas para reboco podem ser aditivadas através da utilização de fibras naturais. A ecoeficiência desta prática deve-se à eventual otimização de características conseguida mas também devido ao facto dessas fibras poderem ser resultantes de resíduos, tais como casca ou palha de cereais, refugo de lã, penas ou crinas, entre outros. No entanto, particularmente a utilização deste tipo de adições de materiais orgânicos naturais pode apresentar problemas ao nível da suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores e outros fungos, que podem colocar em causa a durabilidade das argamassas. Em tempos foram muito utilizadas argamassas mistas de cal aérea e terra. No entanto a sua aplicação caiu em desuso e o conhecimento deste produto é muito reduzido comparativamente, por exemplo, a argamassas apenas de cal aérea.

*Pretende-se neste artigo avaliar a suscetibilidade ao desenvolvimento biológico de argamassas de cal aérea, terra e fibras naturais para rebocos. Para tal, é caracterizada uma argamassa só de cal aérea, outra argamassa da qual 25% da massa de cal foi substituída por massa equivalente de terra argilosa e três argamassas também com 25% de terra mas com adição de diferentes percentagens de fibras naturais, nomeadamente de casca de arroz, crina de cavalo e resíduo de lã de ovelha. A caracterização das argamassas é apresentada em termos de consistência no estado fresco, massa volúmica, resistências mecânicas e porosidade aberta, e comparada com a respetiva suscetibilidade ao desenvolvimento biológico de um dos agentes mais típicos de degradação, no caso o bolor *Aspergillus niger*.*

Considerando as condições de ensaio utilizadas, verificou-se que o desenvolvimento deste bolor na superfície das argamassas é relativamente limitado embora a adição de fibras naturais possa levar a um aumento dos níveis de contaminação.

1. INTRODUÇÃO

Argamassas de reboco

As argamassas têm diversas utilizações em edifícios, sendo a sua aplicação em sistemas de reboco de paredes uma das mais visíveis. Os rebocos formam a primeira proteção dos edifícios, podendo ter ainda algum contributo para o seu conforto térmico e acústico. Protegem os edifícios da ação de intempéries, garantindo impermeabilização, resistência mecânica e, ainda, o aspeto estético da fachada. Consoante os casos, o reboco pode ficar à vista ou sobre ele ser aplicado um sistema de pintura.

Tradicionalmente os sistemas de reboco eram constituídos pela aplicação de camadas sucessivas de argamassas, com funções e características distintas, nomeadamente chapisco, camada de base e camada de acabamento. O chapisco é utilizado principalmente para a promoção da aderência entre o suporte e a camada seguinte; a camada de base, aplicada sobre o chapisco, tem como principal função a impermeabilização do sistema e a regularização da superfície; por último, a camada de acabamento, que é aplicada sobre a camada de base, permite um melhor aspeto visual e, não fendilhando, uma boa barreira à água líquida. São geralmente aplicados em camadas de espessura relativamente pequena, na ordem dos 2 cm no total [1].

Os rebocos industriais podem ser aplicados eficientemente em menor número de camadas e até numa só camada, no caso dos rebocos monocamada. Quando se pretendem rebocos térmicos, com maior contributo para a melhoria do conforto térmico, as argamassas são mais leves e o reboco é constituído por uma espessura total superior [2].

As argamassas são constituídas por ligantes e agregados podendo, eventualmente, ter adições e adjuvantes. Atualmente existem diversos tipos de ligantes inorgânicos utilizados em construção, que são escolhidos conforme o propósito a que se destinam. Estes ligantes dividem-se em dois grandes grupos: aéreos e hidráulicos. Tal como o próprio nome sugere, o que distingue estes dois grupos é o modo como o ligante adquire presa. No caso dos aéreos a presa é obtida por reação com o dióxido de carbono do ar, enquanto no caso dos hidráulicos essa presa é adquirida por reação com a água. No entanto também existem argamassas sem qualquer destes ligantes. É o caso das argamassas em que a terra argilosa é o agente aglutinante.

Cal aérea

Um dos ligantes utilizados em construção desde os tempos mais antigos é a cal. No passado o conhecimento e adequação da cal ao tipo de utilização pretendido eram obtidos pela experiência dos trabalhadores e aperfeiçoado ao longo dos anos. Com o surgimento do cimento, a utilização da cal em construção caiu em desuso. Contudo, devido às características mecânicas do cimento serem inadequadas em processos de reabilitação, a cal tem recuperado o seu papel principalmente na conservação do património arquitetónico [3].

A cal aérea é atualmente classificada e definida de acordo com a NP EN 459-1 [4]; trata-se de um ligante constituído quase exclusivamente por hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 . O endurecimento das argamassas de cal aérea é lento e ocorre por carbonatação, pelo que necessita da presença de CO_2 e de humidade para o seu transporte pela estrutura porosa da argamassa. Essa condicionante relativa ao endurecimento das argamassas de cal aérea é uma das desvantagens apontadas nas obras atuais.

Encontram-se gamas de valores bem definidos para as características, obtidas aos 90 dias, de argamassas com base em cal aérea para aplicação em edifícios antigos [5].

Terra argilosa

Como material existente em abundância e sem necessidade de tratamentos especiais, a terra é utilizada desde a antiguidade na construção. Com a evolução e aparecimento de ligantes como as

cais e os cimentos, o seu uso no fabrico de argamassas e a sua aplicação na construção reduziu ao longo do século XX, nos países mais desenvolvidos. No entanto nunca deixou de ser utilizada em muitos outros países com menores disponibilidades financeiras ou onde estas se encontram distribuídas de forma menos equilibrada. Nas últimas décadas, devido a preocupações essencialmente ecológicas e ao nível da saúde e conforto, tem-se vindo a assistir a um novo interesse relativo à terra como material de construção.

Em Portugal, é possível encontrar muitas construções, nomeadamente de alvenarias, feitas em terra. Muitas destas alvenarias encontram-se com necessidade de serem reabilitadas, particularmente ao nível dos seus rebocos. Assim, urge a necessidade de associar terra a ligantes com melhores propriedades mecânicas mas que, apesar disso, constituam argamassas compatíveis com as características dessas alvenarias [6].

Além da utilização de terra em argamassas na reabilitação de edifícios do mesmo material [7], tem sido estudada a inclusão deste material em argamassas utilizadas comumente de modo a reduzir o consumo de matérias-primas e o gasto de energia como aglutinante único [8][9] ou em conjunto com a cal aérea [10].

A junção de terra à cal tem como objetivo criar uma argamassa mais ecológica, com menor energia incorporada. Tal situação é conseguida devido ao facto de se conseguirem argamassas com menor consumo de um ligante que tem de ser produzido a partir de rocha extraída e calcinada. Por outro lado, e uma vez que este tipo de argamassas foi muito utilizado no passado, interessa também conhecer as características técnicas que pode apresentar.

Para além das melhorias que podem ser conseguidas com a utilização de terra em argamassas de cal aérea [9], interessa também avaliar eventuais desvantagens, particularmente aquelas que possam colocar em causa a durabilidade de uma argamassa. Avaliar se a terra, como material natural, aumenta o risco de ocorrência de desenvolvimento de bolores e outros fungos poderá ser um desses casos.

Fibras naturais

Com o intuito de melhorar o comportamento das argamassas de reboco, estas podem ser aditivadas através da utilização de fibras naturais. Desde os princípios da construção que é feita introdução de fibras em argamassas, uma vez que os materiais tradicionais de terra incluíam fibras naturais [11]. No caso da cal, tem vindo a ser estudada a inclusão de fibras naturais de modo a melhorar características como a retração das argamassas.

Além das eventuais melhorias no comportamento das argamassas, a adição de fibras tem a vantagem de poder aproveitar resíduos, tais como casca ou palha de cereais, refugo de lã, penas ou crinas. Tal como no caso da adição de terra, interessa avaliar se a utilização de fibras naturais, por se tratarem de materiais naturais, aumenta a bio-recetividade comparativamente a argamassas comuns.

Fatores condicionantes de contaminação biológica

A contaminação biológica de argamassas de reboco pode ocorrer com qualquer tipo de ligante. Contudo, existem alguns com maior tendência para que tal aconteça, devido às suas características.

Existem três fatores ambientais importantes no desenvolvimento biológico: humidade, temperatura e teor em nutrientes [12]. Aliados a estes fatores ambientais juntam-se ainda os que estão associados às características dos rebocos: pH, rugosidade e porosidade.

Valores de humidade relativa elevados beneficiam o desenvolvimento de microrganismos. No caso da temperatura, a existência de valores extremos dificulta o desenvolvimento – a permanência a temperaturas médias constantes torna-se, assim, mais favorável ao crescimento biológico. É ainda necessário existir um teor de nutrientes mínimo para que o crescimento seja estimulado [12].

Em relação aos fatores associados aos rebocos, os mais importantes são o pH e a rugosidade. Uma

maior porosidade diminui a resistência da argamassa e aumenta a permeabilidade ao vapor de água, resultando numa maior disposição à colonização [13]. No entanto, estudos realizados por Shirakawa *et. al.* [14] e Tran *et. al.* [15] em argamassas bastardas e de cimento, respetivamente, foi demonstrado que a porosidade tem um efeito mínimo no que diz respeito à colonização biológica.

No que diz respeito ao pH, valores inferiores a 9 permitem a colonização e, por sua vez, valores superiores a 10 inibem o crescimento biológico [14]. No caso da rugosidade, espera-se que uma argamassa com maior rugosidade esteja mais exposta a contaminação, uma vez que possui uma maior superfície de ancoragem para contaminantes [15].

2. ARGAMASSAS E CARACTERIZAÇÃO

Em face do conhecimento que atualmente se tem relativamente a muitas características relativas a argamassas de cal aérea, pretendeu-se avaliar qual o comportamento de uma argamassa só com este ligante face à contaminação biológica. Da mesma forma pretendeu-se avaliar alterações que pudessem ocorrer quando formulada uma argamassa na qual 25% da massa de cal fosse substituída por terra argilosa. Finalmente pretendeu-se avaliar que alterações nessa suscetibilidade biológica seriam introduzidas ao adicionarem-se fibras naturais de três tipos diferentes a argamassas de cal e terra. A suscetibilidade biológica foi avaliada tendo em conta também a consistência das argamassas no estado fresco e as suas características mecânicas e ao nível de porosidade e massa volúmica.

2.1. Composição e amassadura

As argamassas realizadas têm como base uma argamassa de cal aérea e areia siliciosa ao traço volumétrico 1:2 (cal:areia), que se designa como CL2. As características da cal aérea e da areia utilizada podem ser consultadas em Gameiro *et al.* [16] e a granulometria da terra argilosa pode ser consultada em Faria *et. al.* [10]. Nas restantes quatro argamassas, 25% da massa de cal aérea foi substituída por terra argilosa comercializada pela Sorgila e proveniente da zona da Redinha, Pombal. Em três dessas argamassas foram adicionadas diferentes fibras naturais. As fibras naturais utilizadas são casca de arroz, crina de cavalo cortada com dimensões de 1-2 cm e resíduo de lã. Cada um dos tipos de fibras foi adicionado em percentagem elevada (na correspondência da massa da cal) e distinta dos restantes. Uma vez que a baridade das fibras era também distinta, os volumes incorporados eram também bastante diferentes. As percentagens elevadas de fibras foram definidas de modo a permitir obter argamassas manualmente consideradas como trabalháveis. As percentagens mássicas de fibras naturais utilizadas, face à massa de cal, foram de 9% de casca de arroz (argamassa CL2-25t+9ca), 5% de crina de cavalo (argamassa CL2-25t+5cc) e 2% de resíduo de lã (argamassa CL2-25t+2rl). As fibras naturais foram disponibilizadas por uma fábrica de descasque de arroz, por um picadeiro e por uma fábrica de lavagem e fiação de lã, respetivamente.

As denominações de cada argamassa, bem como uma breve descrição da sua composição encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Denominação e composição das diferentes argamassas

Denominação	Composição
CL2	Cal aérea e areia ao traço volumétrico 1:2
CL2-25t	Cal aérea e areia ao traço volumétrico 1:2 mas com 25% de massa de cal substituída por terra
CL2-25t+9ca	Idem à anterior mas com adição de 9% de casca de arroz, face à massa de cal
CL2-25t+5cc	Idem à anterior mas com adição de 5% de crina de cavalo
CL2-25t+2rl	Idem às duas anteriores mas com adição de 2% de resíduo de lã

O material seco de cada argamassa foi pesado e homogeneizado na cuba da misturadora mecânica de laboratório. A quantidade de água que se considerou necessária para obter uma boa

trabalhabilidade foi introduzida nos segundos iniciais da mistura mecânica. A mistura mecânica prolongou-se por 3 minutos, com uma interrupção de 30 segundos para reintegração do material nos bordos da cuba.

O traço em massa e a relação mássica entre a água e o material seco das argamassas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Composição (traço em massa e relação água/material seco) e consistência das argamassas

Argamassa	Traço em massa (cal:terra:areia:fibra)	Água/Mat.seco [-]	Consistência [mm]
CL2	1 : 0 : 7.7 : 0	0,20	146,6
CL2-25t	1 : 0.3 : 10.3 : 0	0,20	147,1
CL2-25t+9ca	1 : 0.3 : 10.3 : 0.09	0,23	142,5
CL2-25t+5cc	1 : 0.3 : 10.3 : 0.05	0,23	144,3
CL2-25t+2rl	1 : 0.3 : 10.3 : 0.02	0,26	154,8

2.2. Ensaio de consistência por espalhamento, provetes e cura

De modo a quantificar a trabalhabilidade e a consistência de cada argamassa realizada efetuou-se o ensaio de consistência por espalhamento. Este ensaio teve por base a norma EN 1015-3 [17]. Para o tipo de argamassa em estudo (com base em cal aérea, em que a água não é necessária para hidratação), considerou-se trabalhável uma argamassa que obtivesse valores na ordem dos 150 ± 10 mm.

O ensaio consistiu em encher um molde tronco-cónico com argamassa fresca em duas camadas compactando a argamassa, com o auxílio de um pilão, um mínimo de 10 vezes por camada, rasurando-se o material em excesso. Em seguida, na mesa de espalhamento, o molde é retirado e a argamassa é submetida a 15 pancadas em 15 segundos. Em seguida, com o auxílio de uma craveira, são medidos dois diâmetros perpendiculares entre si e é feita a média entre eles. Os valores médios obtidos são apresentados na Tabela 2.

Foram executados três provetes prismáticos em moldes metálicos de 40x40x160 [mm], preenchidos em duas camadas que foram compactadas mecanicamente, e nivelados. Ficaram em cura a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e 65% de humidade relativa, tendo a superfície livre dos provetes sido aspergida diariamente com água do 2º ao 5º dia. Foram desmoldados ao fim de 7 dias e mantidos nas mesmas condições de cura até aos 90 dias de idade.

2.3. Massa volúmica, resistências mecânicas e porosidade aberta

Aos 90 dias de idade os três provetes de cada argamassa foram pesados numa balança com precisão de 0,001g e medidos com uma craveira digital, determinando-se a respetiva massa volúmica no estado endurecido e apenas por método geométrico.

Os provetes de cada argamassa foram ensaiados à tração por flexão por três pontos, de acordo com a EN 1015-11 [18], através de uma máquina universal de tração Zwick Rowell Z050 com uma célula de carga de 2kN. As metades dos provetes resultantes da flexão foram sujeitas a ensaio de compressão no mesmo equipamento mas com uma célula de carga de 50kN, com base na mesma norma.

O topo íntegro de cada provete ensaiado foi então submetido ao ensaio de determinação de porosidade aberta, com base na norma NP EN 1936 [19] definida para ensaio de pedra natural, por vácuo e pesagem hidrostática. Como se optou por efetuar cada fase do ensaio durante 24 horas, ao

longo deste ensaio os provetes permaneceram 48 horas imersos em água. Esta situação, mais exigente que em situações reais, pôde conduzir a alguma lavagem do ligante das argamassas, que se transferiu para a água.

Apresentam-se na Tabela 3 os valores médios obtidos da massa volúmica no estado endurecido, das resistências à tração por flexão e à compressão e da porosidade aberta das argamassas.

Tabela 3. Massa volúmica, resistências à tração e à compressão e porosidade aberta das argamassas

Argamassa	MV [kg/m ³]	Rt [N/mm ²]	Rc [N/mm ²]	Pab [%]
CL2	1594	0.33	0.70	29
CL2-25t	1576	0.31	0.57	30
CL2-25t+9ca	1437	0.20	0.44	34
CL2-25t+5cc	1444	0.22	0.51	33
CL2-25t+2rl	1579	0.25	0.60	31

2.4. Ensaio de contaminação biológica

Para o ensaio de contaminação biológica, que deve ser considerado preliminar, foram utilizados os provetes resultantes do ensaio de porosidade aberta, que estiveram 48 horas imersos em água, secos ao ar, condicionados em laboratório e posteriormente cortados em pequenos blocos com aproximadamente 4 x 4 [cm] de área superficial. Foram ensaiados três provetes por variável, exceto no caso da argamassa com casca de arroz em que só foi possível obter dois provetes.

Para avaliar a resistência à contaminação biológica por bolores seguiu-se uma metodologia adaptada da Norma Americana ASTM D 5590-00 [20] (Figura1) e já aplicada anteriormente com sucesso neste tipo de avaliação [21].



Figura 1. Alguns provetes no ensaio de contaminação biológica

Como material biológico foi utilizada uma cultura pura de *Aspergillus niger* mantida na coleção do LNEC. A viabilidade da suspensão de esporos foi verificada em 3 provetes de papel de filtro

Whatman nº 1 que serviram de controlo.

Os provetes foram mantidos durante 4 semanas em ambiente condicionado ($22\pm 1^\circ\text{C}$ de temperatura e $70\pm 5\%$ de humidade relativa do ar) sendo o desenvolvimento dos fungos na superfície dos provetes avaliado todas as semanas, de acordo com a seguinte escala: 0 = sem crescimento; 1 = menos de 10% da superfície de provete; 2 = 10 a 30%; 3 = 30 a 60%; 4 \geq 60%.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na Figura 2, que apresenta a consistência por espalhamento face à relação água/material seco das argamassas, verifica-se que a substituição de 25% de cal aérea por massa equivalente de terra não altera significativamente a consistência da argamassa. No entanto, a adição de fibras à argamassa de cal e terra produz uma variação evidente na consistência. Quando se adicionou casca de arroz e crina de cavalo, a consistência diminuiu, mesmo com um acréscimo da relação água/material seco; no caso da adição de resíduo de lã, a argamassa aparentou necessitar de maior quantidade de água mas depois obteve um acréscimo da consistência, comparativamente a todas as outras argamassas e particularmente às argamassas com outras fibras naturais.

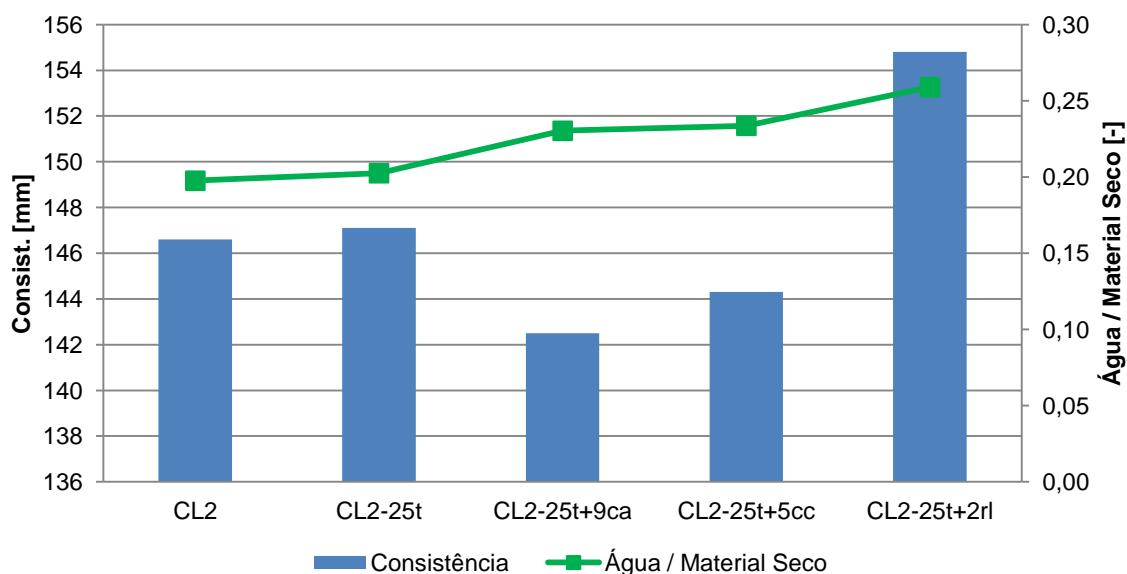


Figura 2. Consistência por espalhamento e relação mássica água/material seco das argamassas

A Figura 3 regista os valores das resistências à tração por flexão e à compressão das argamassas, aos 90 dias de idade. Constata-se que as argamassas apresentam a mesma tendência relativamente às resistências à tração e à compressão. Verifica-se que a substituição de 25% de massa de cal por terra na argamassa diminui as resistências à tração por flexão e à compressão, sendo essa diminuição mais notória no segundo caso. Em relação às argamassas com adição de fibras, é possível observar que apenas o resíduo de lã melhora a resistência à compressão quando comparado com a argamassa de cal e terra sem fibras. Nas restantes duas argamassas ocorre uma diminuição das resistências à tração por flexão e à compressão, sendo que a argamassa com pior desempenho é a com adição de casca de arroz. Chamando a atenção para o facto da argamassa com resíduo de lã ter sido formulada com uma maior relação água/material seco, que conduziu a uma consistência por espalhamento superior às restantes, como hipótese pode admitir-se que talvez as suas características mecânicas possam ser ainda otimizadas com uma formulação com uma quantidade de água ligeiramente menor.

Comparando as resistências mecânicas aos 90 dias das argamassas analisadas com a gama de

valores recomendada por Veiga *et al.* [5] para argamassas para edifícios antigos (ou alvenarias com características mecânicas semelhantes), verifica-se que todas as argamassas analisadas apresentam-se dentro dessa gama, deste ponto de vista.

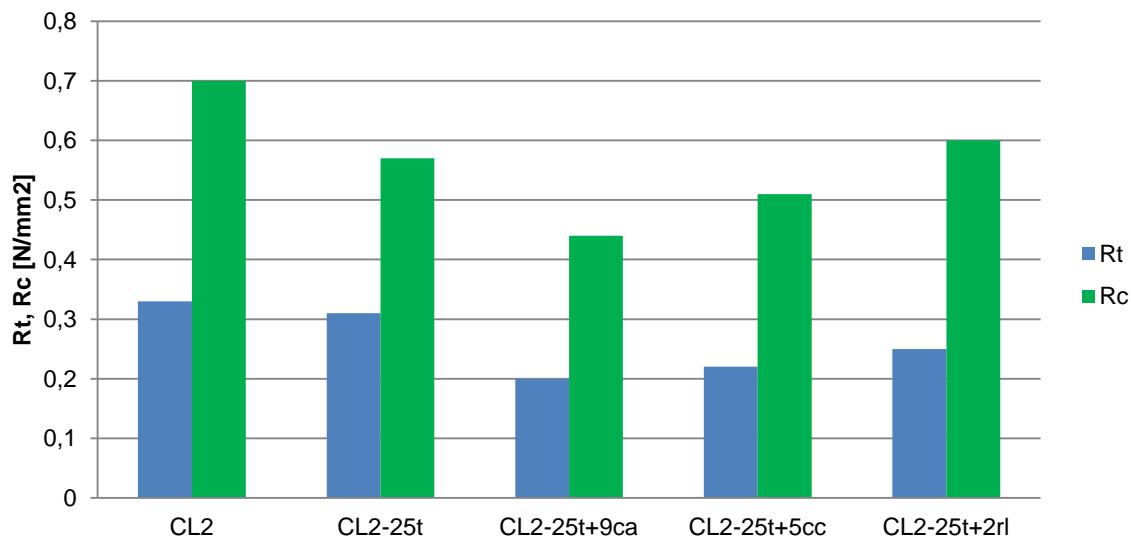


Figura 3. Resistências à tração por flexão e à compressão das argamassas

A Figura 4 apresenta a massa volúmica e a porosidade aberta das argamassas.

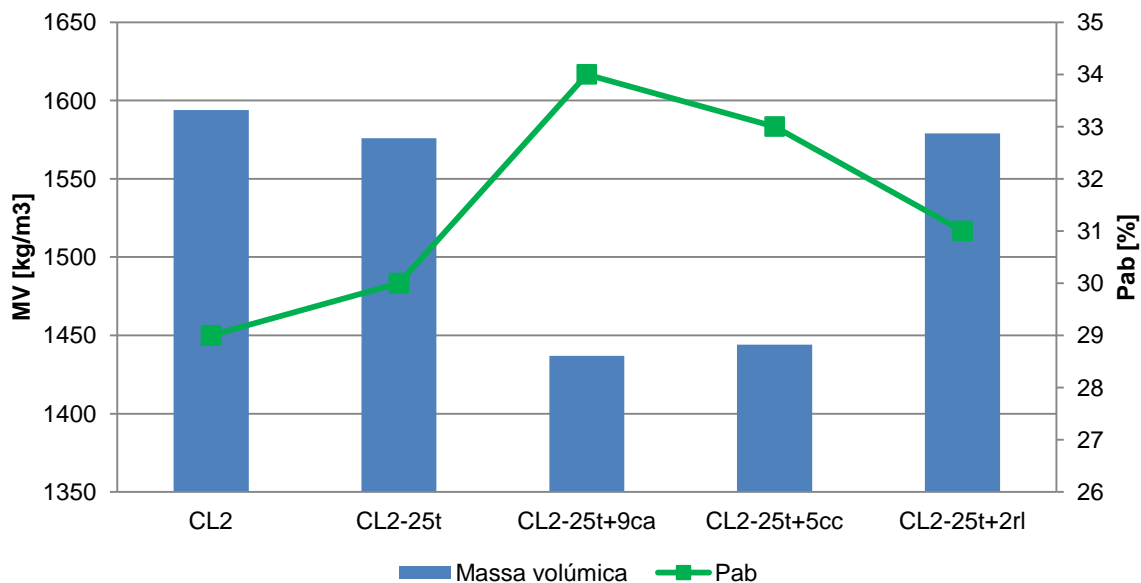


Figura 4. Massa volúmica e porosidade aberta das argamassas

Embora a massa volúmica e a porosidade aberta tenham sido determinadas por dois métodos distintos - o primeiro apenas com base na geometria exterior, enquanto o segundo considerando obviamente a microestrutura interna – pela Figura 4 observa-se que as argamassas apresentam tendências inversas face a estas duas características. Constata-se que apenas as argamassas com inclusão de casca de arroz e crina de cavalo apresentam variações acentuadas no que diz respeito à

massa volúmica. Para as restantes argamassas, a massa volúmica mantém-se aproximadamente constante - apenas com uma ligeira diminuição com a substituição de cal por terra e por terra com adição de resíduo de lã. Relativamente à porosidade aberta, quando comparada com os valores da argamassa de referência ocorre um aumento em todas as argamassas. Este é mais acentuado na presença de fibras, nomeadamente na presença de crina de cavalo e, particularmente, de casca de arroz.

Comparando as Figuras 3 e 4 verifica-se que as resistências mecânicas apresentam uma tendência semelhante à registada pela massa volúmica (e inversa à da porosidade aberta), pelo que se demonstra a relação entre todas estas características.

No que diz respeito aos ensaios de contaminação biológica, a Figura 5 apresenta os resultados obtidos para as argamassas em estudo e para os provetes de controlo. Nestes provetes o crescimento do fungo foi intenso, quer sobre o papel de filtro, quer sobre o meio de cultura, permitindo assim a validação do ensaio.

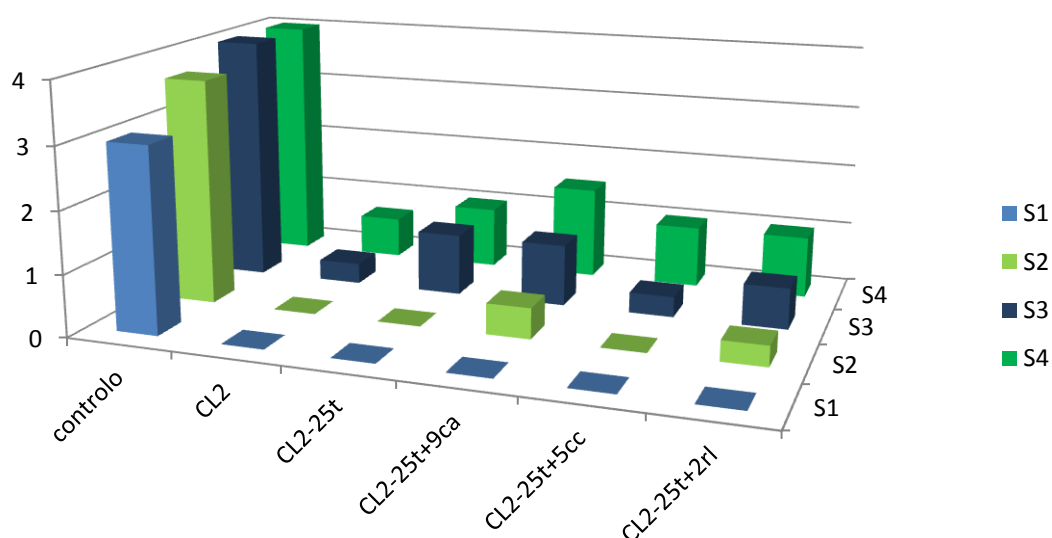


Figura 5. Resultados do ensaio de contaminação biológica

Qualquer das argamassas estudadas apresentou alguma resistência ao desenvolvimento de *Aspergillus niger*. De registar que ao fim de uma semana de ensaio nenhum dos provetes das diferentes argamassas apresentava ainda sinais de contaminação, estando já nessa altura o fungo bem instalado no meio de cultura e apresentando todos os provetes de controlo um grau 3.

Com o decorrer do ensaio foi possível verificar algumas pequenas diferenças entre as várias argamassas. Mas o reduzido número de provetes ensaiados (em particular de CL2-25t+9ca) reforça o carácter preliminar do ensaio.

Quando se compara a argamassa de referência (CL2) com a argamassa onde foi adicionada terra, observa-se que essa adição parece não aumentar significativamente a percentagem de contaminação, mantendo-se inferior a 10%. Contudo neste caso todos os provetes apresentam indícios de fungos.

A adição de fibras naturais às argamassas resultou num pequeno incremento no desenvolvimento do fungo, atingindo valores entre 10 e 30% em alguns dos provetes

A adição de crina de cavalo à argamassa conduz a resultados diferentes para os três provetes ensaiados sendo que num caso se obtém até 30% da superfície contaminada e noutro caso não

apresenta indícios de contaminação. Admite-se que a maior dificuldade de homogeneizar estas fibras na argamassa possa explicar parcialmente este resultado.

Face aos resultados e com a limitação já referida do número de provetes, pode-se admitir que a adição mais desfavorável em termos de colonização biológica seja a que inclui terra e casca de arroz. Os dois provetes apresentaram sinais de contaminação, sendo que um deles apresentou o maior grau de desenvolvimento de todo os provetes de argamassa.

Na Figura 6 é apresentado o aspeto final dos provetes de dois tipos de argamassas, CL2-25t+5cc e CL2-25t+2r, no final do ensaio. De notar que, quer a presença da lâ, quer da crina é bem evidente.

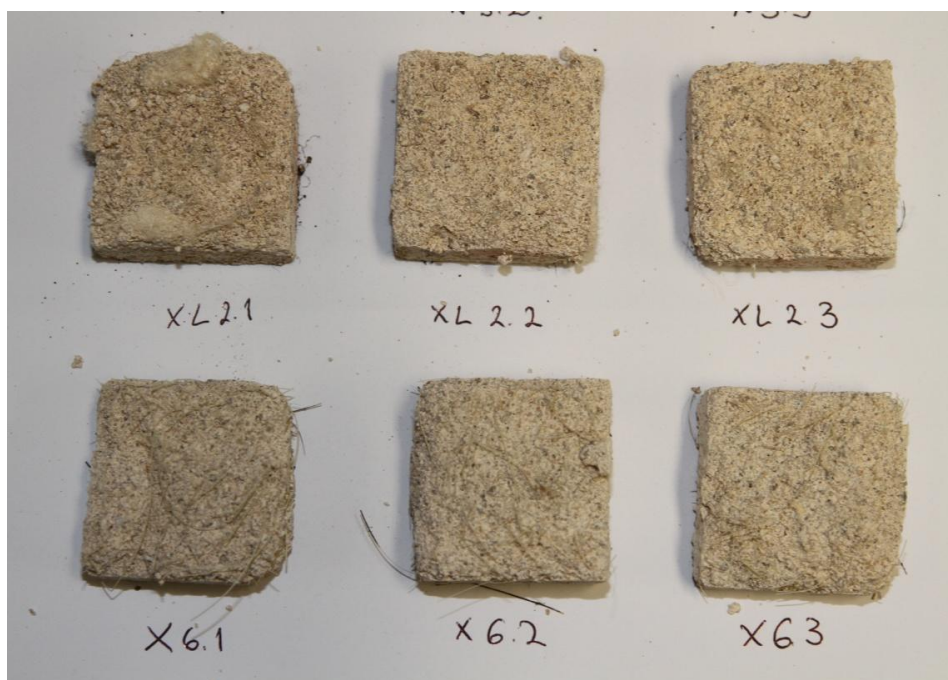


Figura 6. Provetes CL2-25t+5cc e CL2-25t+2rI no final do ensaio

Analisando os resultados dos ensaios de contaminação biológica em paralelo com os resultados dos ensaios mecânicos e físicos, regista-se que as argamassas com fibras de casca de arroz e crina de cavalo têm em comum valores mais elevados de contaminação e porosidade aberta e valores mais baixos de massa volúmica e resistência à tração e compressão.

4. CONCLUSÕES

Considerando as limitações do ensaio de contaminação biológica e as condições de ensaio utilizadas, verificou-se que o desenvolvimento do bolor *Aspergillus niger* na superfície das argamassas é relativamente limitado, embora a adição de fibras naturais possa levar a um aumento dos níveis de contaminação.

O desenvolvimento limitado do fungo pode ser explicado, por exemplo, pelos valores do pH que se admite que os provetes tenham. Enquanto, no caso de argamassas de cal aérea, uma argamassa após carbonatação baixa o pH de 12.5 para valores próximos de 9 [22], as argamassas comerciais de terra apresentam um pH próximo de 8 [23]. Tal como foi referido anteriormente, para que ocorra contaminação é essencial, entre outros fatores, que o pH do provete se encontre abaixo de 9. Assim, devido ao elevado pH apresentado pela cal aérea, o desenvolvimento do bolor pode ter sido, favoravelmente, inibido.

No caso das argamassas que registaram maior presença de fungos foi possível identificar que eram

também as que apresentavam valores mais elevados de porosidade aberta. Este facto permite concluir que, ao contrário do referido em alguns estudos [14][15], a porosidade parece influenciar a disposição à contaminação por bolores.

Nesta fase do estudo pretendeu-se avaliar as características que volumes elevados de fibras naturais introduziam nas argamassas. Em estudos subsequentes, e uma vez despistado que a sua introdução não parece traduzir-se em problemas significativos ao nível da contaminação biológica, vai então proceder-se à otimização dessas argamassas em termos de composição e também efetuar-se caracterização complementar.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo financiamento ao projeto EXPL/ECM-COM/0928/2012. São ainda devidos agradecimentos à Lusical pela disponibilização da cal aérea H100, à Doutora Idália Gomes e à Sorgila pela terra argilosa, à Inês Dias pela casca de arroz, à Catarina Pereira pela crina de cavalo e à Multilã pelo resíduo de lã.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Veiga e P. Faria, “Revestimentos de ligantes minerais e mistos com base em cimento, cal e resina sintética”, in *Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes. 1º Módulo*. Lisboa, LNEC, 1990, pp. 40-173.
- [2] IPQ, NP EN 998-1: 2013, “Especificação de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para revocos interiores e exteriores”, Caparica.
- [3] P. Faria, F. Henriques e V. Rato, “Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation”. *Journal of Cultural Heritage*, vol. 9, pp. 338-346, 2008.
- [4] IPQ, NP EN 459-1: 2011, “Cal de construção. Parte 1: Definições, especificações e criterios de conformidade”, Caparica.
- [5] R. Veiga, A. Fragata, A. Velosa, A. Magalhães e G. Margalha, “Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings” *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 4, pp. 177-195, 2010.
- [6] M. I. Gomes e P. Faria, “Repair mortars for rammed earth constructions”, in *XII DBMC – 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Vol.2, V.P Freitas, H.Corvacho, M.Lacasse (eds.), Porto, FEUP, 2011, pp.689-696
- [7] M. I. Gomes, T. Gonçalves e P. Faria, “Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers”, *Rammed Earth Conservation*, Mileto, Vegas & Cristini (eds.), Taylor & Francis Group, London, 2012, pp. 661-668.
- [8] P. Faria, T. Santos e V. Silva, “A Portuguese premixed earth-based mortar for eco-efficient plasters”, *International Conference on Vernacular Heritage, Sustainability and Earthen Architecture, VerSus 2014, 2nd MEDITERRA, 2nd ResTAPIA*, Valencia, Spain, 11-13 September, 2014 (aceite para publicação).
- [9] P. Faria, T. Santos e V. Silva, “Earth-based mortars for masonry plastering”, *9th International Masonry Conference*, 7-9 July 2014, Univ. Minho, Guimarães, 2014 (aceite para publicação).
- [10] P. Faria, V. Silva, N. Jamú, I. Dias e I. Gomes, “Evaluation of air lime and clayish earth mortars for earthen wall renders”, *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*, M. Correia, G. Carlos, S. Rocha (eds.), CRC Press / Taylor & Francis Group, 2013, pp. 407-413.
- [11] M. I. Gomes, T. Gonçalves e P. Faria, “The compatibility of earth-based repair mortars with rammed earth substrates”, *HMC2013 – Historic Mortars Conference, University of West Scotland*, Glasgow, Sept 2013 (CD).

- [12] U. Rohlen, "Mould on Clay Renders", in *6th International Conference on Building with Earth*, LEHM 2012, Weimar, Germany, 5-7 October, Dachverband Lehm e.V., 2012, pp. 113-121.
- [13] D. Giannantonio, J. Kurth, K. Kurtis e P. Sobecky, "Effects of concrete properties and nutrients on fungal colonization and fouling", *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 63, pp. 252-259, 2009.
- [14] M. Shirakawa, I. Beech, R. Tapper, M. Cincotto e W. Gambale, "The development of a method to evaluate bioreceptivity of indoor mortar plastering to fungal growth". *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 51, pp. 83-92, 2003.
- [15] T. Tran, A. Govin, R. Guyonnet, P. Grosseau, C. Lors, E. Garcia-Diaz, D. Damidot, O. Devès e B. Ruot, "Influence of the intrinsic characteristics of mortars on biofouling by *Klebsormidium flaccidum*". *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 70, pp. 31-39, 2013.
- [16] A. Gameiro, A. Santos-Silva, P. Faria, J. Grilo, T. Branco, R. Veiga e A. Velosa, "Physical and chemical assessment of air lime-metakaolin mortars: Influence of binder:aggregate ratio", *Cement and Concrete Composites*, vol. 45, pp. 264-271, 2014.
- [17] CEN, EN 1015-11:1999, "Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)". Brussels.
- [18] CEN, EN 1015-11:1999, "Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar". Brussels.
- [19] IPQ, NP EN 1936:2008, "Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta". Caparica.
- [20] ASTM, ASTM 5590: 2000, "Determining the resistance of paint films and related coatings to fungal defacement by accelerated four-week agar plate assay", *ASTM International*, Pennsylvania, USA.
- [21] M. Martins, L. Nunes e F. Branco, "Plastering and rendering mortars incorporating regranulated of expanded cork to improve durability", in *XII DBMC - 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, vol. III, V. Peixoto de Freitas, H. Corvacho, M. Lacasse (eds.), Porto, FEUP, 2011, pp. 1361-1368.
- [22] P. Faria, "Argamassas de revestimento para alvenarias antigas". Tese de Doutoramento em Engenharia Civil – Reabilitação do Património Edificado. Universidade Nova de Lisboa, 2004.
- [23] C. Galán-Marín, C. Rivera-Gómez e J. Petric, "Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre", *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 1462-1468, 2010.